

Cl.Ai.Co – Clever Air Components zur Gebäudeklimatisierung

Dr.-Ing. Ralph Krause

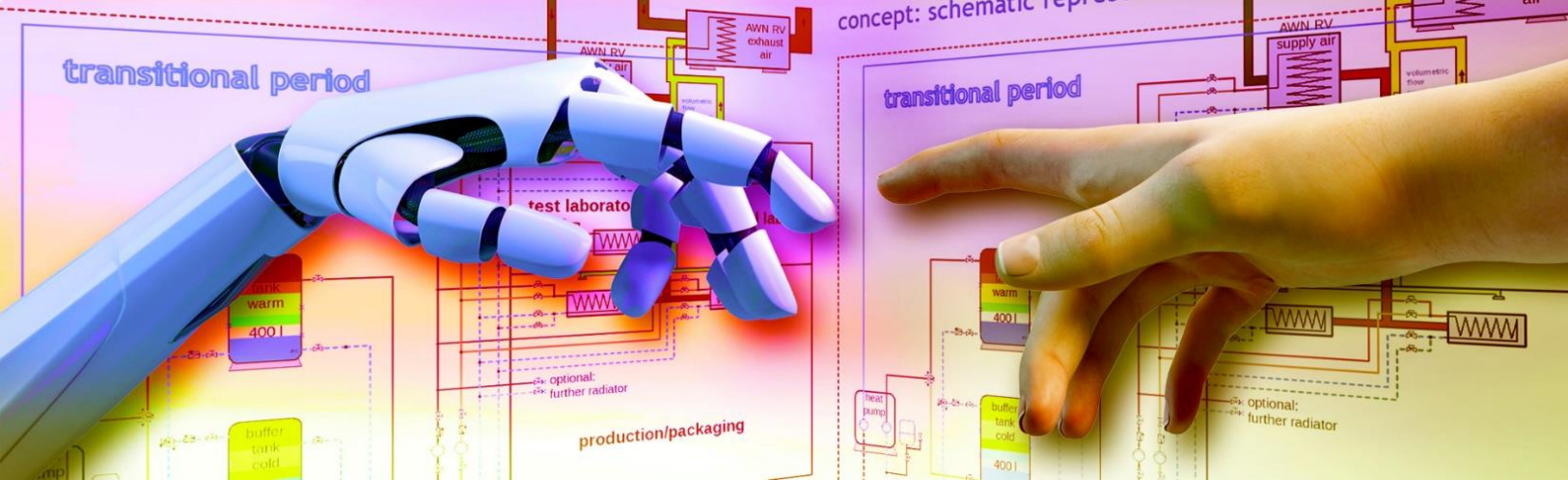
Hauptbereich Luft- und Klimatechnik

ILK Dresden



Berlin, 28./29. Januar 2021





Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



SAB Clusternummer 3857



12/2019–03/2022



www.ilkdresden.de/CIaIaCo

CI.Ai.Co – Clever Air Components zur Gebäudeklimatisierung

- Zielstellung des Forschungsvorhabens
- Lösungsansatz
- Versuchsaufbau der Musterinstallation
- Wetterprognose
- Simulation Hydraulik
- Zusammenfassung und Ausblick

Zielstellung des Forschungsvorhabens

- Entwicklung einer energieeffizienten Gebäudeklimatisierung
- System integrierbar in den BIM-Prozess sowohl für die Planung als auch für den Anlagenbetrieb
- offene/ transparente Schnittstellen für die Gebäudeautomation
- intelligente Steuerung zur Adaption verschiedenster Parameter
- Skalierbarkeit der Anlagentechnik
- wirtschaftlich praktikabel Lösung

Clever Air Components → Cl.Ai.Co



Lösungsansatz

- Patent EP 3 425 300 A2 als Basis zum Lösungsansatz
- Musterinstallation mit drei Räumen mit unterschiedlichen Anforderungen
- Nutzung von Methoden des maschinellen Lernens (ML)
 - Einbeziehung des digitalen Gebäudemodells (BIM)
 - Einbeziehung der Wetterprognose
 - Gerätekonzept mit intelligenter selbstlernender Steuerung
 - Co-Validierung mit digitalem Zwilling



Versuchsaufbau der Musterinstallation

- Musterinstallation
 - Elektrowerkstatt (OG)
 - Entwicklung (OG)
 - Produktion/ Verpackung (UG)
- Anforderungen Heizen / Kühlen
- Ausstattung
 - thermische Speicher (Wasser)
 - Wärmepumpe
 - Zuluft- / Abluftgerät mit WRG
 - Übergabesysteme (Luft, Wasser)

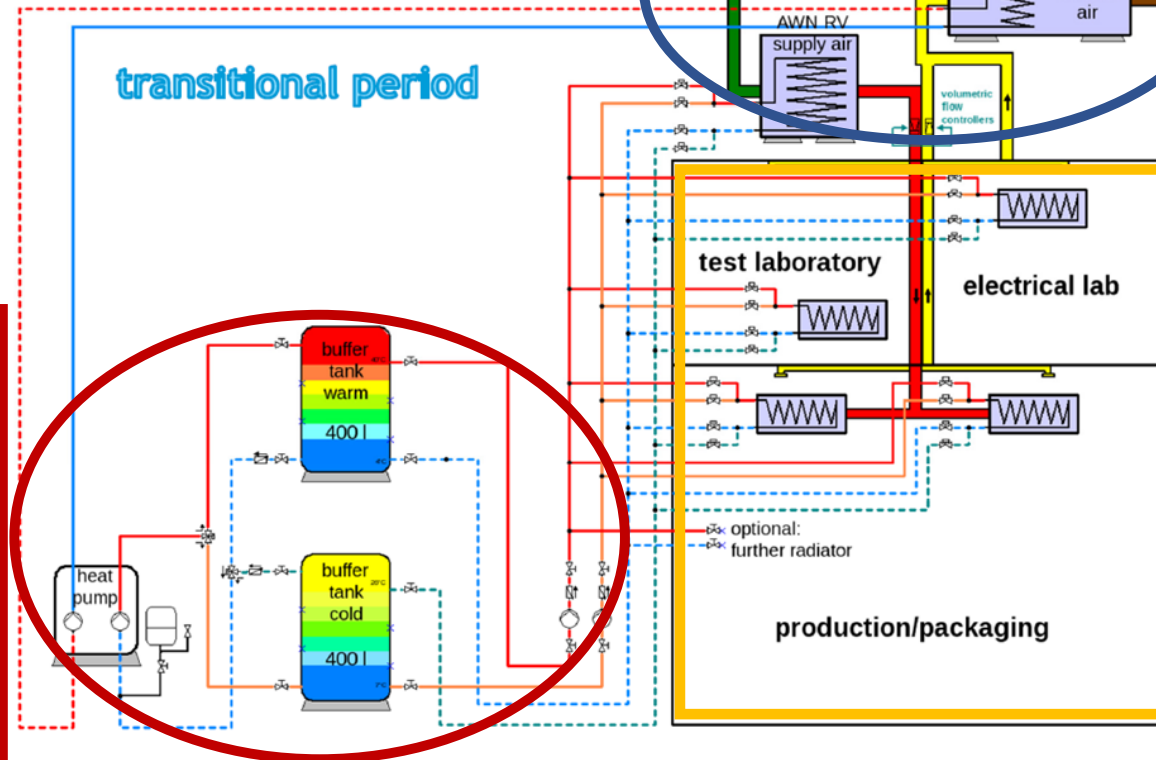


Versuchsaufbau der Musterinstallation

Zu- und Abluftventilator mit WRG



concept: schematic representation



Wärmepumpe und
thermische Speicher



Gebäude



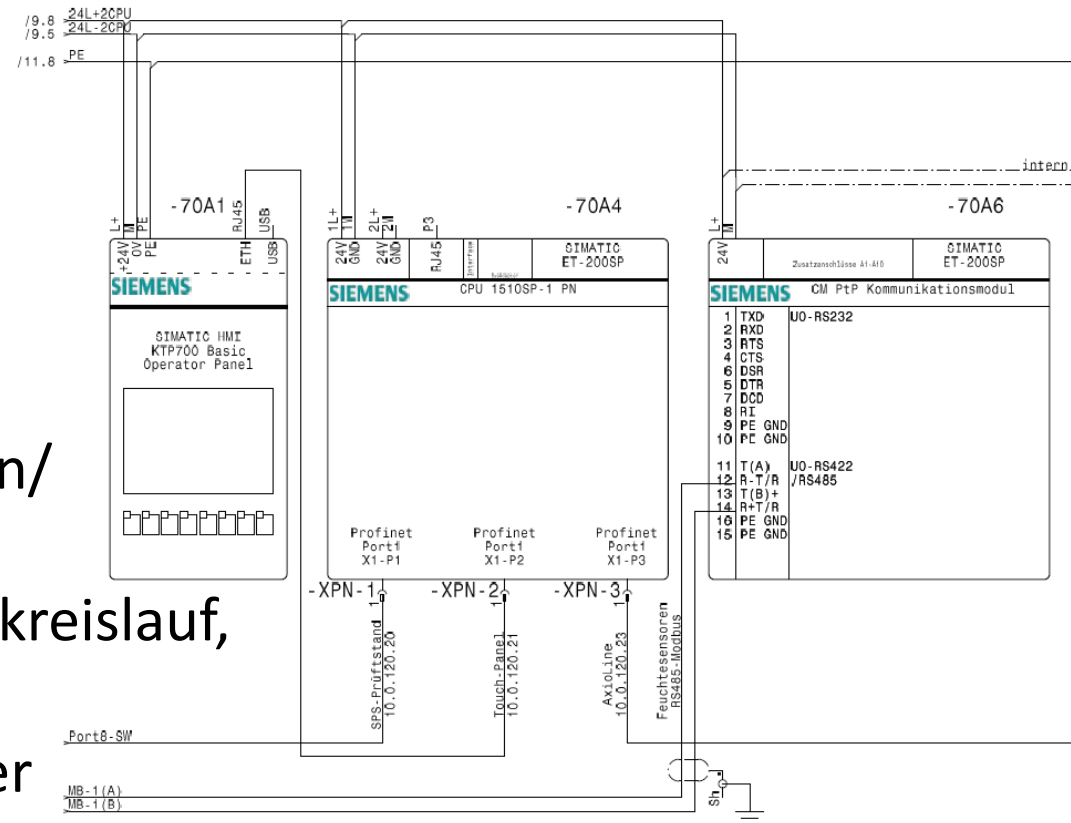
Versuchsaufbau der Musterinstallation

- Ansteuerung der Komponenten

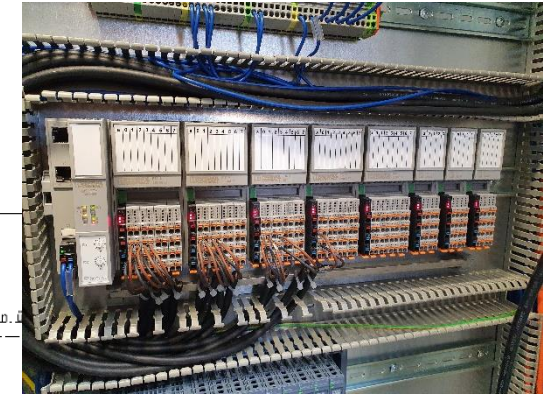
- Erzeuger
- Verbraucher
- Speicher

- Messdatenerfassung

- Wetterdaten
- Raumlufttemperaturen/
Raumluftfeuchten
- Temperaturen Wasserkreislauf,
Durchflüsse
- Temperaturen Speicher
- Luftvolumenströme ZU/AB



Messwerterfassung

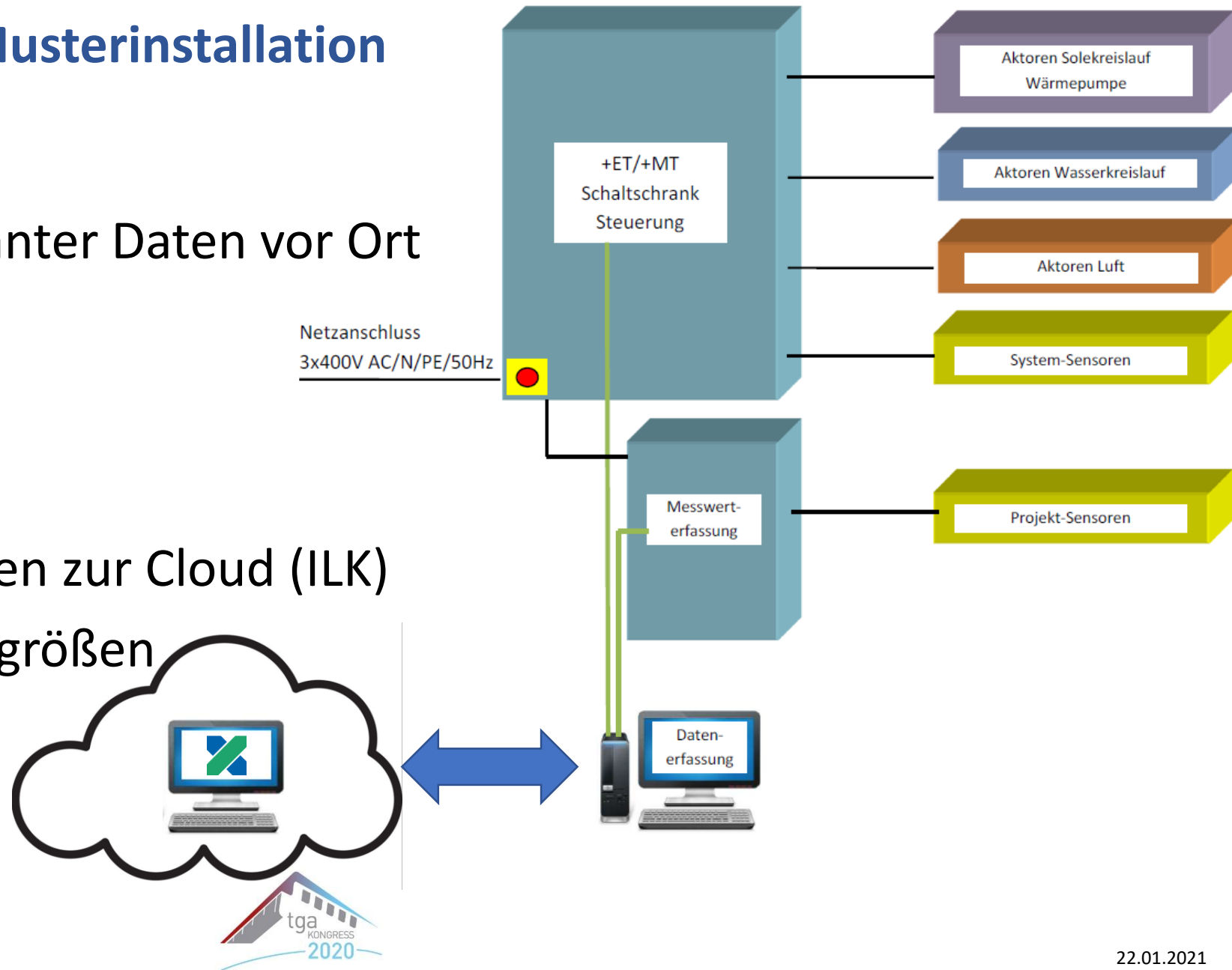


Steuerung



Versuchsaufbau der Musterinstallation

- Erfassung aller relevanter Daten vor Ort
 - Aktoren
 - Sensoren
 - Anforderungen
 - Wetter
- Übertragung der Daten zur Cloud (ILK)
- Berechnung der Stellgrößen
 - digitaler Zwilling
 - KI/ ML
 - Wetterprognose



Wetterprognose

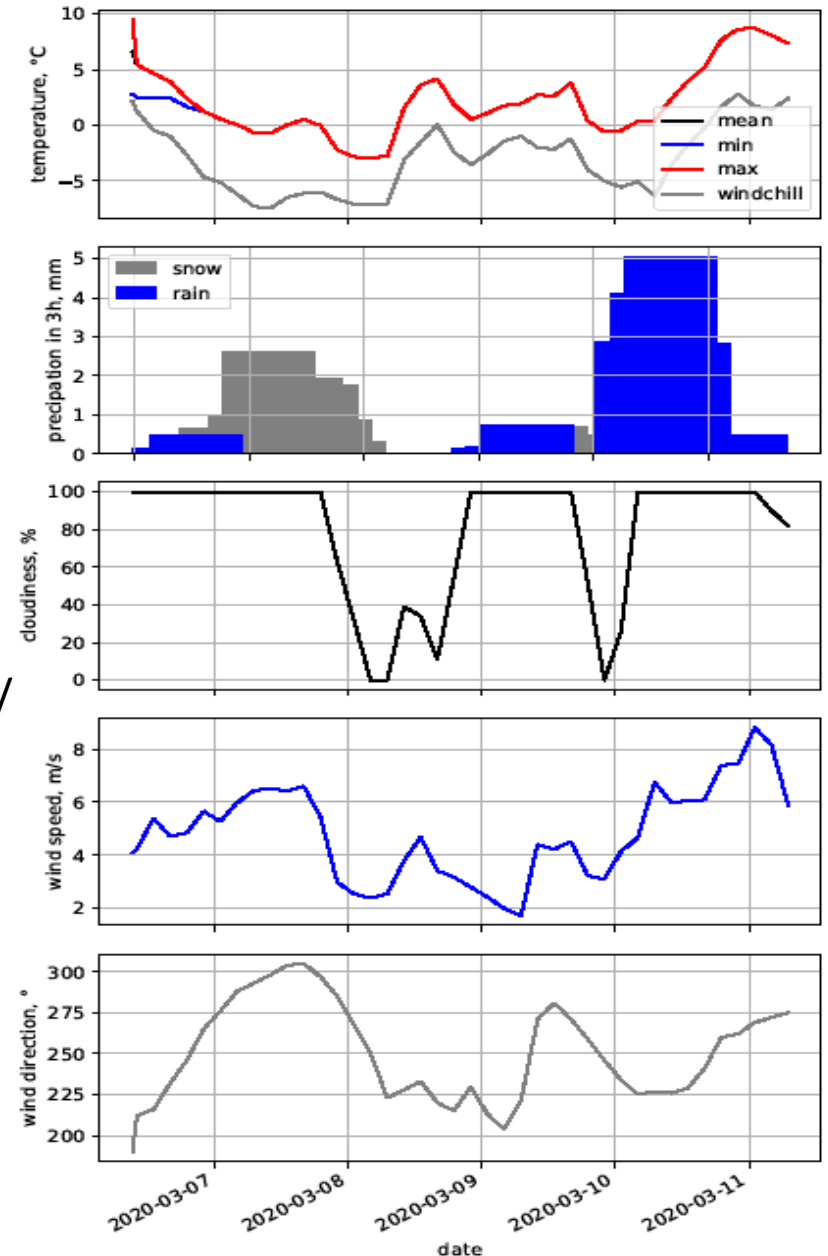
- Wetterdaten von OpenWeather und Met.no
- Abfrageintervall 15 min
 - temperature
 - clouds (high, medium, low, fog)
 - humidity/dewpoint
 - wind (direction, speed)
 - precipitation (snow, rain)
 - pressure
- Prognose 120 h / 96 h



<https://openweathermap.org/>

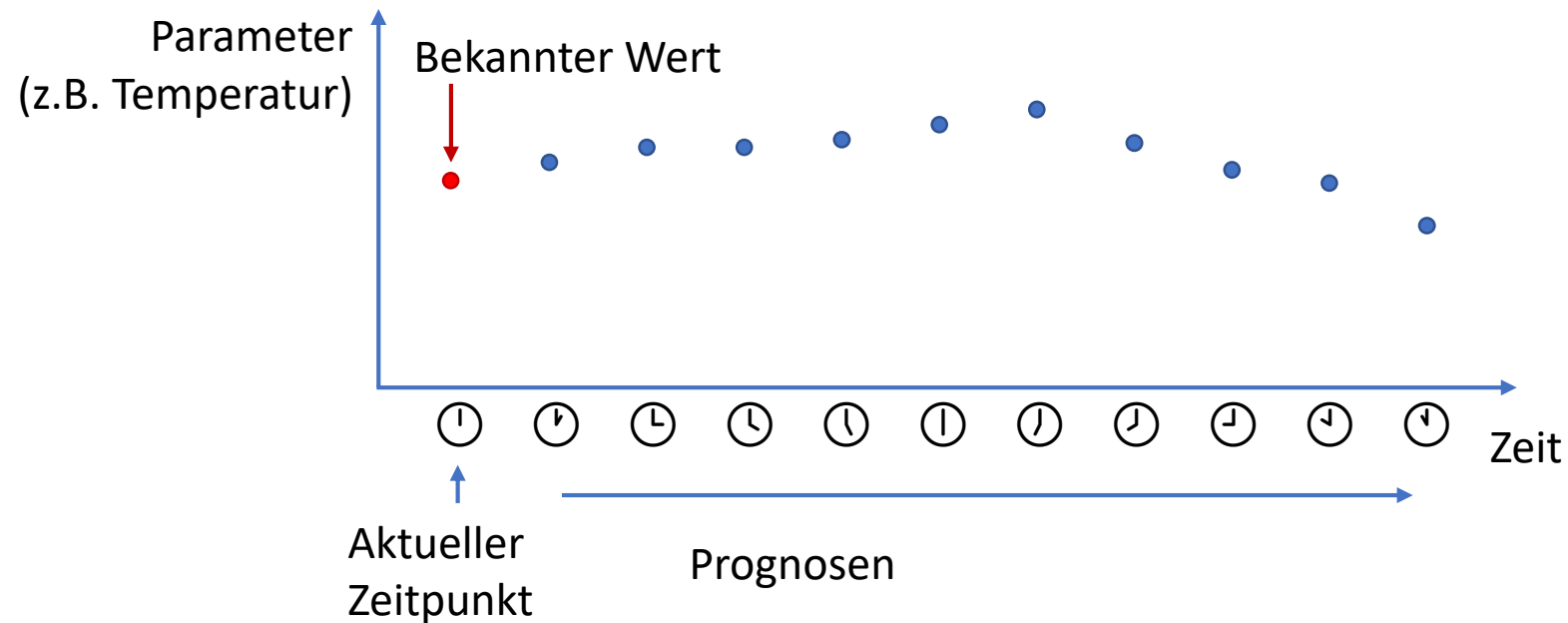


<https://www.met.no/>



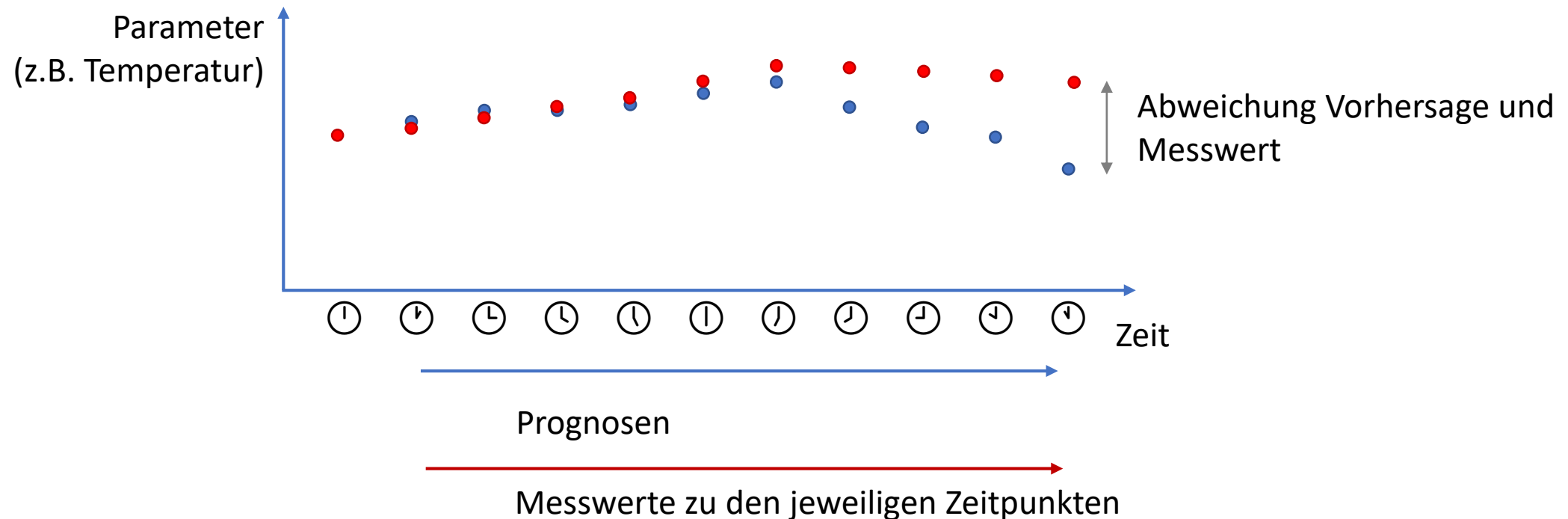
Wetterprognose

Verwenden der Wetterprognose der Wetterdienste
Wie gut sind die Vorhersagen?



Wetterprognose

Verwenden der Wetterprognose der Wetterdienste
Wie gut sind die Vorhersagen?



Wetterprognose

- Bewertung der Prognosewerte mit dem tatsächlichen Ereignis (Messwert)
- jeder Zeitstempel enthält je Parameter ca. 50 Prognosewerte
- Auswertung von ca. 30.000 Zeitstempel
- je Wetterdienst ca. 15 Mio. Werte



ca. 30 Mio. Werte in der Auswertung berücksichtigt

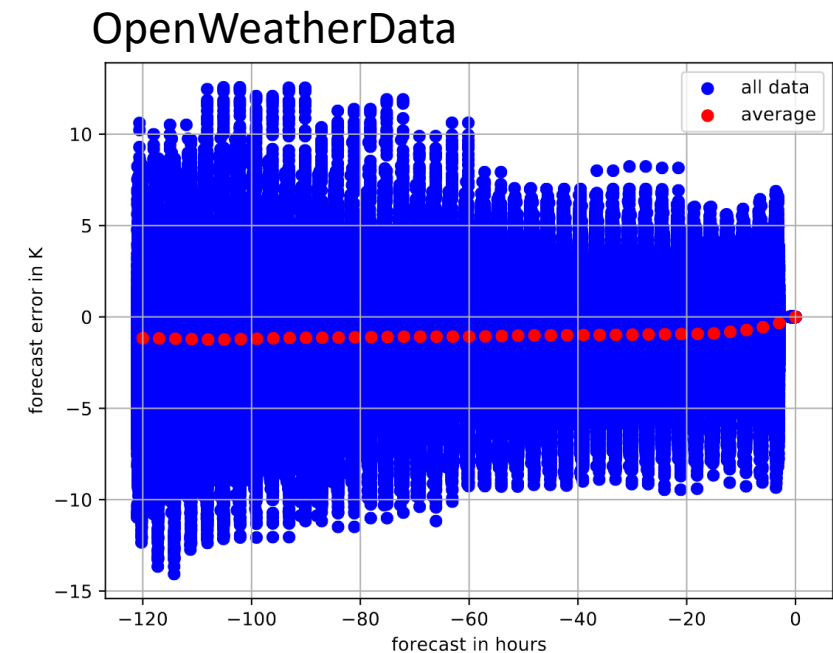
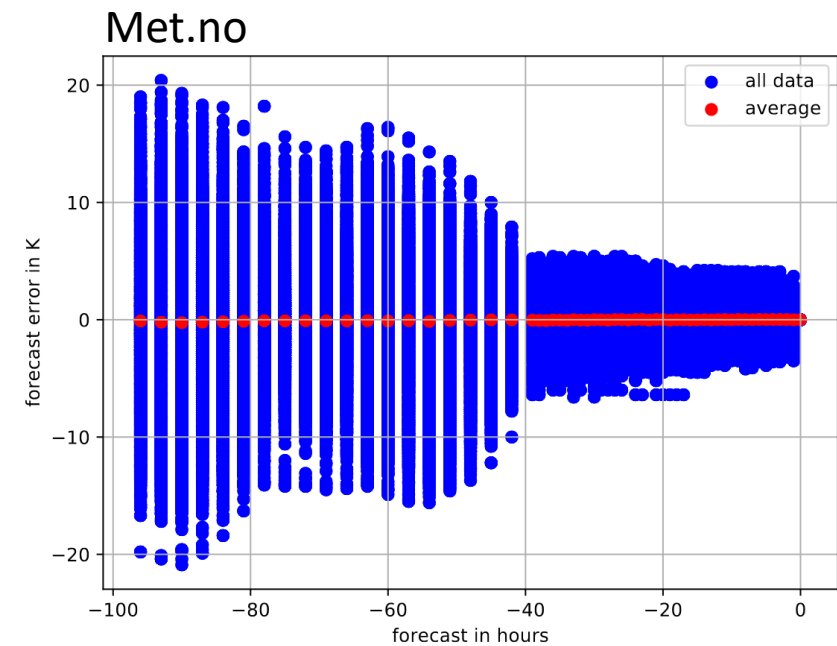


Wetterprognose

- Darstellung der Prognosegenauigkeit für eine Vorhersagedauer bis 96h/120 h

Beispiel Temperaturprognose

- mittlere absolute Unsicherheit 0,5...2 K (Vorhersagedauer > 20 h)
- zu einzelnen Zeitpunkten große Abweichungen möglich



Simulation Hydraulik

Ausgangslage:

- hydraulische Netzwerke in Gebäuden (Heizung, Kälte, Lüftung,...) sehr vielfältig
- keine Definition des Netzes im Vorfeld möglich

Anforderungen:

- leichte Anpassbarkeit an neue Netze
- universell einsetzbar
- keine Kenntnis einzelner Maschen notwendig
- einfacher Code / Parallelisierbarkeit



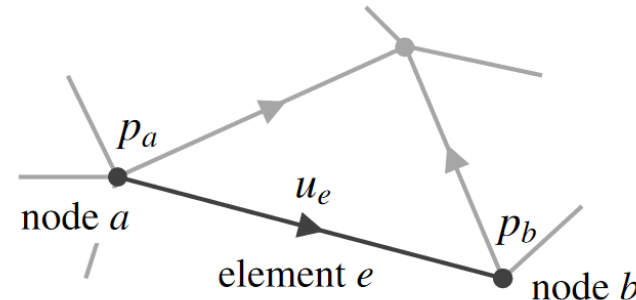
Simulation Hydraulik

Ergebnis:

- neues Rechenverfahren für hydraulische Netzwerke*
- Basis sind num. Methoden aus dem wissenschaftlichen Rechnen
- aktuell für Druck und Geschwindigkeit gelöst, Temperatur noch offen

```

1 while  $\varepsilon > \text{tolerance}$  do
2    $\mathbf{u} \leftarrow \mathbf{u} + \omega \mathbf{r}$ 
3   solve  $\mathbf{L} \cdot \boldsymbol{\phi} = \mathbf{D} \cdot \mathbf{u}$ 
4    $\mathbf{u} \leftarrow \mathbf{u} - \mathbf{G} \cdot \boldsymbol{\phi}$ 
5    $\mathbf{p} \leftarrow \mathbf{p} + \boldsymbol{\phi} / \omega$ 
6   update  $\mathbf{r}(\mathbf{u}, \mathbf{p})$ 
7    $\varepsilon \leftarrow \|\mathbf{r}\|$ 
8 end
    
```



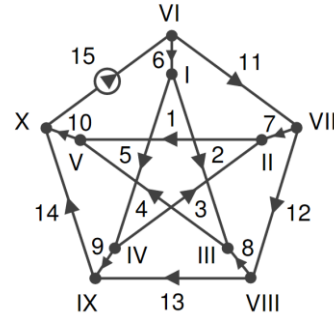
element	$f(u)$	remarks
pump*	$\Delta p_0 - \frac{\delta p}{\delta u} u $	$\Delta p_0 > 0, \frac{\delta p}{\delta u} \geq 0$
pipe	$-\lambda \frac{L}{D} \frac{\rho}{2} u u + \rho g \Delta h$	λ according to (10)
valve	$-\zeta \frac{\rho}{2} u u$	$\zeta = \text{const.}$

*Tschisgale, Oppelt, Friebe: A fractional-step projection method for hydraulic networks, 2020, submitted to Journal of Hydraulic Research



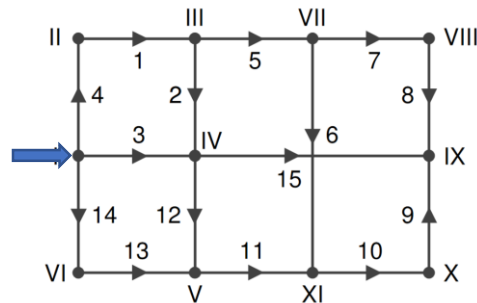
Simulation Hydraulik - Validierung

- Petersen Graph



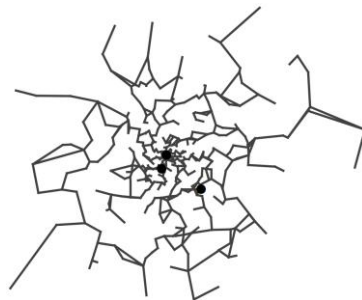
14 Rohre, 10 Verbindungen, laminare Strömung
gelöst in 3 ms mit 2 Iterationen*

- Brkic



14 Rohre, 10 Verbindungen, turbulent
1 Einspeisung, 9 Verbraucher
gelöst in 59 ms mit 61 Iterationen*

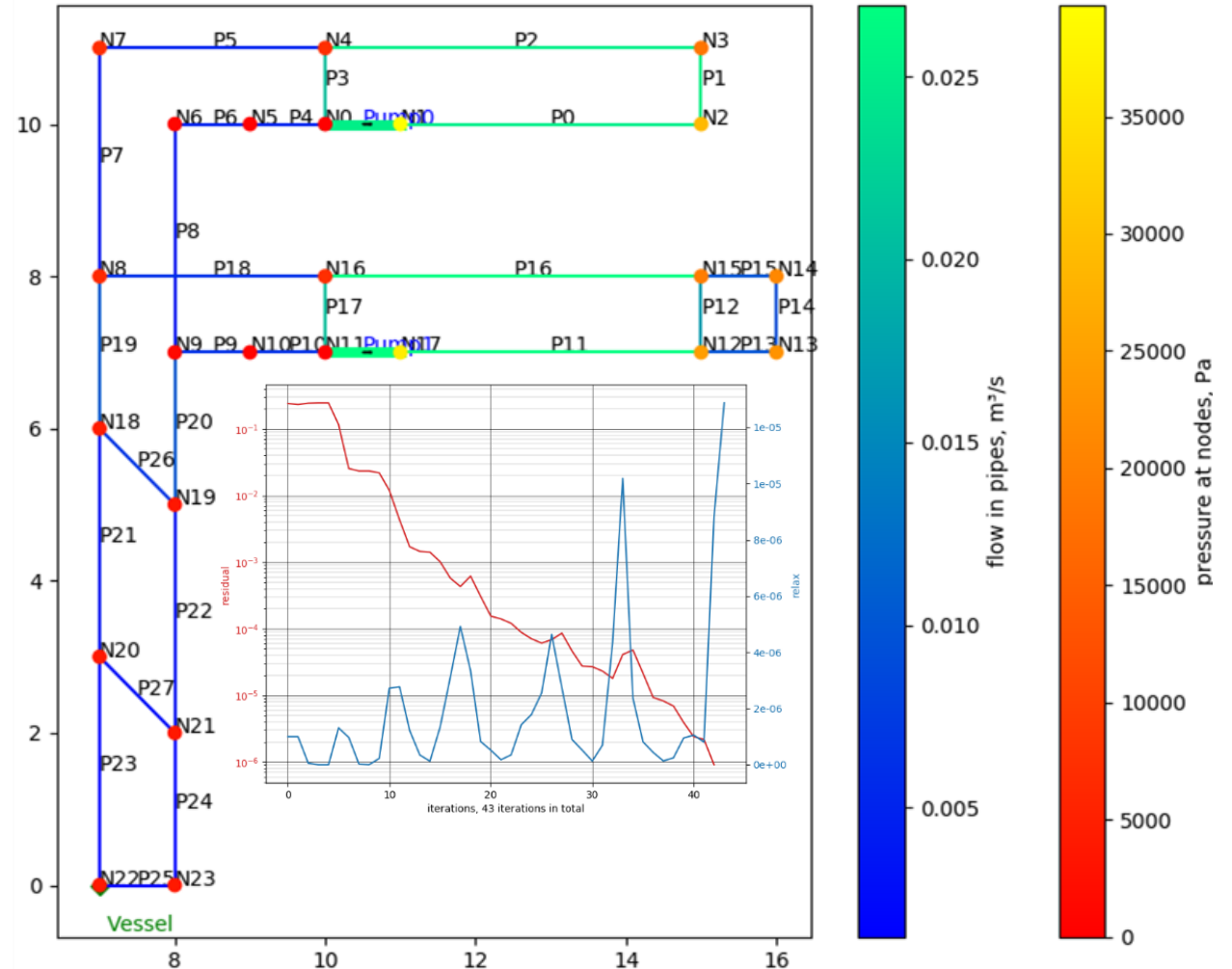
- HydroGen



498 Rohre, 413 Verbindungen, 3 Speicher,
geodätischer Druck, turbulent
gelöst in 1,79 s mit 370 Iterationen*
(zum Vergleich: EPANET: 0,29 s, 11 Iterationen)

Simulation Hydraulik - Projektanwendung

- Darstellung des Wasserkreislaufes
- 23 Knoten, 25 Rohrleitungen
- 2 Pumpen,
1 Ausdehnungsgefäß
- Rechenzeit: 0,1 s in
43 Iterationen



Zusammenfassung/ nächste Aufgaben im Forschungsvorhaben

- Versuchsaufbau mit Musterinstallation abgeschlossen
- Programmierung digitaler Zwilling in Arbeit
 - Co-Validierung mit Musterinstallation
 - Erzeugung von Datensätzen zum Trainieren des ML-System
- Entwicklung einer BIM-Schnittstelle zum ML-System
- Weiterentwicklung der Wetterprognose
 - dynamische Korrektur der Vorhersage
 - Einbeziehung weiterer Dienstleister
- Anlernen des Systems und Optimierung der Regelalgorithmen

Block 8 11:20



Fachverband
Gebäude-Klima e.V.



BTGA
Bundesverband
Technische Gebäudeausrüstung e.V.



BDH
Bundesverband der
Deutschen Heizungsindustrie



RLt
Richtlinien
Technische Gebäudeausrüstung

**Klimatechnik-Betriebsoptimierung
mittels maschinellem Lernen**

Dr.-Ing. Thomas Oppelt
Wissenschaftlich-technischer Mitarbeiter

ILK Dresden



Unter der
Schirmherrschaft des
Bundesministeriums
für Wirtschaft
und Energie

Berlin, 28./29. Januar 2021

Cl.Ai.Co – Clever Air Components zur Gebäudeklimatisierung

Dr.-Ing. Ralph Krause

Hauptbereich Luft- und Klimatechnik

ILK Dresden



Berlin, 28./29. Januar 2021

